

基于发电变动成本分析的调峰辅助服务效益寻优模型研究与应用

张丰收¹ 杜启正¹ 周瑞志¹ 孙利娟²

1. 华能涇池热电有限责任公司 河南 三门峡 472400

2. 华能河南分公司 河南 郑州 450018

摘要:为更好适应“双碳”下新型电力系统要求,发挥火电机组灵活性优势,华能涇池热电通过DCS建立了实时发电变动成本与深度调峰效益寻优应用模型,实现了生产数据分析、建模、应用到DCS可视化,形成了以入炉煤掺配分析模块为基础,实时发电变动成本分析模块为支撑,深度调峰收益寻优分析模块为目标的分析模型,指导深度调峰幅度(深度)和深度调峰价格申报。

关键词:发电变动成本;调峰辅助服务;效益寻优模型

引言

2015年3月,中共中央国务院正式发布《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》,电力辅助服务机制改革作为一个较新的概念进入人们的视野。2016年10月,东北电网开展电力辅助服务市场专项改革试点工作。2018年河南能监办关于印发《河南电力辅助服务补偿机制实施方案》,2019年7月河南能监办印发《河南电力调峰辅助服务交易规则(试行)》,2020年1月1日正式启动调峰辅助服务交易。2020年6月河南能监办印发《河南电力调峰辅助服务交易规则(试行)》补充规定。2021年,河南电力调峰辅助服务市场累计启动312天,全年电力调峰辅助服务补偿费用合计13.5亿元,同比增长95.50%。全国范围内增加系统调峰能力9000万千瓦,为清洁能源增加发电空间近800亿千瓦时,减少近1亿吨二氧化碳排放。

国内机组调峰辅助服务效益寻优相关研究现状。华北电力大学新能源电力系统国家重点实验室林俐等发表的论文《基于火电机组分级深度调峰的电力系统经济调度及效益分析》、广西电网电力调度控制中心祁乐等发表的论文《燃煤火电机组提供调峰辅助服务的成本和效益分析》、国电科学技术研究院有限公司张海涛等发表的论文《东北区域火电机组分级深度调峰经济效益分析》等,从燃煤火电机组的煤耗成本、油耗成本、损耗成本、环境成本等方面对其调峰成本进行综合分析,给出了燃煤火电机组调峰成本数学模型并进行算例分析,进而建立基于深度调峰的电力系统经济调度模型^[1-3]。南京

理工大学万泽维等发表的《660MW机组深度调峰试验研究与效益分析》,仅从供电煤耗上升导致增加燃料成本与调峰补偿两个方面进行调峰期间效益分析^[4]。国内对火电机组调峰辅助服务效益分析,基本都是基于火电机组综合成本分析,得到全网火电机组深度调峰最佳经济策略,在火电机组实时发电变动成本方面及不同深调负荷发电边际贡献寻优、各档深度调峰收益寻优方面研究还不深入,无法指导每台机组调峰幅度和价格申报。

1 模型架构和研究方法

涇池热电通过DCS建立了实时发电变动成本与深度调峰效益寻优应用模型(如图1),首先建立入炉煤掺配分析模块,按照来煤热值、挥发份、硫份等参数进行分类,不同类煤种掺配进入原煤仓,通过各制粉系统实时给煤量加权后,确定平均入炉热值、入炉标煤单价和实时生产供电煤耗等数据,再根据生产供电煤耗、入炉标煤单价等实时数据进行燃煤成本分析;燃煤成本、燃油成本、运行大宗材料消耗量、三项环保排放量(二氧化硫、氮氧化物、粉尘)等数据组成发电变动成本分析模块,通过上网电量营收、深度调峰补偿和发电变动成本,计算出发电边际贡献。而机组深度调峰要确认,通过不同深调负荷发电边际贡献寻优,指导调峰幅度申报;通过分析各档深度调峰收益寻优,指导调峰价格申报。

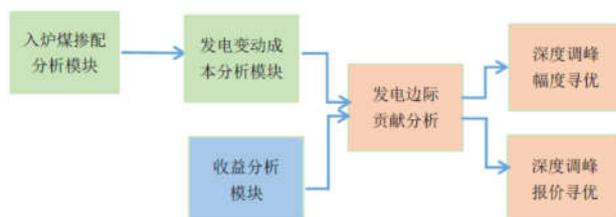


图1 调峰辅助服务效益寻优模型架构

作者简介:张丰收(1983-),男,山东兰陵人,工程硕士,工程师,目前从事火电机组技术、管理方面的研究。

1.1 入炉煤掺配分析模块。通过五类煤种掺配比例、低位发热量、标煤采购单价，通过各制粉系统实时给煤量加权后，确定平均入炉热值、入炉标煤单价和实时生产供电煤耗等数据。

由入炉原煤量和入炉煤低位发热量得到入炉煤标煤量，扣除供热耗标煤量，得到发电标准煤耗，由高厂变电量和发电量得到发电厂用电率，通过发电标准煤耗、发电厂用电率得到供电煤耗。

1.2 发电变动成本模块。发电变动成本包括根据实时生产供电煤耗、入炉标煤单价等数据进行的燃煤成本分析（供热、工业供汽耗煤分摊后的生产供电煤耗），以及燃油成本、运行所需大宗消耗物资（石灰石、尿素、化学药品）、生水消耗、三项烟气指标环保税与水资源税等。

燃煤成本。利用配煤掺烧模块，根据制粉系统实际入炉煤种及标煤单价，系统自动计算出当前实际入炉标煤单价，并根据入炉成本计算模块计算出燃料成本。

燃油成本。锅炉负荷降至40%负荷以下，炉内截面热负荷及容积热负荷降低，炉内温度下降，燃烧稳定性变弱，着火距离增长，为保证锅炉安全稳定运行，需要投入油枪进行稳燃，通过油流量进出口偏差，产生燃油瞬时使用流量，根据燃油采购价格，计算出燃油成本。

脱硫剂石灰石消耗成本。根据吸收塔石灰石浆液实时供浆量和供浆密度，计算出石灰石实时耗量，根据石灰石入厂价格，计算出石灰石实时成本：

$$\text{石灰石成本} = \text{石灰石耗量} \times \text{石灰石价格}$$

尿素消耗成本。根据脱硝系统左右侧喷氨实时流量，计算出尿素实时耗量，根据尿素耗量和价格，计算出尿素实时成本：

$$\text{尿素成本} = \text{尿素耗量} \times \text{尿素价格}$$

生水消耗成本。由于来水生水通过制水后进入水池或者水箱进行存储，直接使用生水来水计算生水消耗并不准确，需要使用凝汽器补充除盐水耗量（回收率），加上工业水耗量（回收率），得到生水消耗量，乘以生水价格，得到生水成本。

环保税。二氧化硫、氮氧化物、粉尘环保税。净烟气侧二氧化硫排放浓度、烟气量、收税标准三项乘积得到二氧化硫环保税额；净烟气侧氮氧化物排放浓度、烟气量、收税标准三项乘积得到氮氧化物环保税额；净烟气侧粉尘排放浓度、烟气量、收税标准三项乘积得到粉尘环保税额。

水资源税。通过生水消耗量乘以水资源税吨水收税标准，得到水资源税额。

1.3 收益分析模块。进行上网电量营收计算、深度调峰收益计算（含深度调峰各档打折计算）。

售电收益为当前机组负荷×电价×（1-厂用电率%）×1000/（1+税率）。

深度调峰补偿。机组深度调峰交易指在系统需要机组主动调减出力至负荷率小于有偿调峰基准时，以机组调减出力为标的的交易，有偿调峰基准一般为机组额定容量的50%；深度调峰电量是指火电厂在各深度调峰分档区间内平均负荷率低于深度调峰基准形成的未发电量。实时深度调峰交易采用“阶梯式”报价方式（如表1），优先选择报价低的机组参与深度调峰。每日各档深度调峰电量与当日该档深度调峰出清价格相乘得到每日深度调峰补偿额度，每日深度调峰补偿额度累加得到月度各档打折后深度调峰补偿额度。

表1 河南省深度调峰交易“阶梯式”报价上下限

档位	负荷率	报价下限（元/千瓦时）	报价上限（元/千瓦时）
第一档	40% ≤ 负荷率 < 50%	0	0.3
第二档	35% ≤ 负荷率 < 40%	0.3	0.5
第三档	30% ≤ 负荷率 < 35%	0.5	0.6
第四档	负荷率 < 30%	0.6	0.7

1.4 发电边际贡献分析。

边际贡献是管理会计中一个经常使用的概念，它是指销售收入（不含税）减去变动成本后的余额，它是运用盈亏分析原理，进行生产决策的一个十分重要的指标。对于火电企业而言，边际贡献就是售电收入（不含税）减去燃料及其它变动成本后的余额，是确定发电策略的重要参考指标。边际贡献的计算方法如下：

$$\text{度电边际贡献} = \text{不含税电价} - \text{度电变动成本} = \text{含税电价} / 1.13 - \text{度电变动成本}$$

度电边际贡献 = 全部不含税售电收入 - 全部变动成本。

当边际贡献为正时，企业应该通过不断提高售电量来增加盈利，努力增发电量。当边际贡献为负时，意味着企业已经失去了造血功能，不仅无法创造利润，甚至连正常的生产经营活动都将无法维持。此时火电企业应停止发电，或在履行必要的社会责任的基础上尽量少发电。

发电边际贡献寻优分析是基于入炉煤掺配分析模块、发电变动成本分析模块、收益分析模块，对发电收益、深度调峰收益和变动成本三个方面分析，得到深度调峰工况下不同负荷发电边际贡献。

1.5 深度调峰报价寻优模块。通过分析各档深度调峰收益寻优，指导调峰价格申报。

1.6 深度调峰幅度（深度）寻优模块。通过不同深调负荷发电边际贡献对比分析，得到边际贡献最优值，指

导调峰幅度申报。

2 深度调峰报价寻优

通过深度调峰报价寻优可以得到每个负荷段边际贡献最优值，部分调峰负荷段收益部分无法覆盖少发电影响和供电煤耗增加的成本，但可以通过增加调峰深度，用下一档收益增加来推销上一档不足部分，需要说明的是此时上一档报价应为最大值，减少该档调峰时长（调度优先降低报价低的机组出力，故报价越高调峰时长越短），以此减少该档下收益受损。

2.1 一档报价寻优分析

调峰范围在一档（40%-50%负荷）时边际贡献与不深调最小值（50%额定负荷）边际贡献相同时得到深调一档平衡点报价（一档报价高限为0.3元/千瓦时，低限为0）。

计算公式： $(\text{基准收益} - (\text{边际贡献} - \text{一档调峰补偿}) / \text{一档电量}) / \text{一档打折系数}$ ；

当计算公式小于0时取0，说明只要调峰收益就大于不深调最小值（50%额定负荷）收益；当计算公式大于0.30元/千瓦时时取0.30元/千瓦时，说明只要调峰收益总是小于不深调最小值（50%额定负荷）收益。

2.2 一档报价寻优分析

调峰范围在二档（35%-40%负荷）时边际贡献与不深调最小值（50%额定负荷）边际贡献相同时得到深调二档平衡点报价。

计算公式： $(\text{基准收益} - (\text{边际贡献} - \text{一档补偿金额}) / \text{二档电量}) / \text{二档打折系数}$ ；

当计算公式小于0.30元/千瓦时时，说明只要深度调峰至二档（35%-40%负荷）收益就大于不深调最小值（50%额定负荷）收益；当计算公式大于0.50元/千瓦时时，说明只要调峰至二档收益总是小于不深调最小值（50%额定负荷）收益。

3 深度调峰幅度（深度）寻优

通过设定不同负荷、不同打折系数得到各负荷的边际贡献，进行深度调峰幅度（深度）寻优分析（如图2）。

当深度调峰补偿不打折时，深度调峰（50%额定负荷以下）边际贡献均较50%额定负荷边际贡献高；当深度调峰补偿打五折时，32%额定负荷边际贡献与50%额定负荷边际贡献持平，32%额定负荷以下边际贡献较50%额定负荷边际贡献高，故应减少32%-50%额定负荷运行时间。

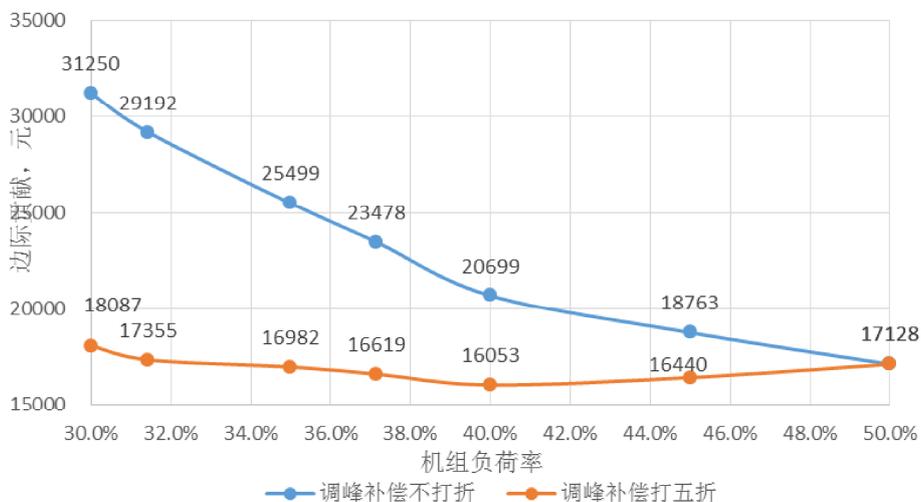


图2 深度调峰不同负荷下边际贡献

4 结束语

实时发电变动成本与深度调峰效益寻优分析应用模型，结合电网运行方式和新能源预测情况，通过不同深调负荷发电边际贡献寻优，指导调峰幅度申报；通过分析各档深度调峰收益寻优，指导调峰价格申报，同时可及时准确地指导调整机组发电策略、电力现货市场的报价策略，提升煤电机组综合效益。

参考文献

[1]林俐, 田欣雨.基于火电机组分级深度调峰的电力

系统经济调度及效益分析[J].电网技术, 2017, 41(7): 2255-2263.

[2]祁乐,等.燃煤火电机组提供调峰辅助服务的成本和效益分析[J].电力大数据, 2019, 10: 23-29.

[3]张海涛, 等.东北区域火电机组分级深度调峰经济效益分析[J].东北电力技术, 2019, 8: 15-21.

[4]万泽维, 等.660MW机组深度调峰试验研究与效益分析[J].能源研究与利用, 2022, 4: 33-36.